

ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЗАПРОВАДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ, БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

ISSN 2218-1873

DOI: <https://doi.org/10.31713/budres.v0i49.15>

УДК 624.012.45:624.046

ПІДСИЛЕННЯ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ШЛЯХОМ ВЛАШТУВАННЯ ДОДАТКОВИХ БАЛОК ЧЕРЕЗ ТЕХНОЛОГІЧНІ ОТВОРИ: ВІД РОЗРАХУНКУ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ

STRENGTHENING OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE SLABS BY INSTALLING ADDITIONAL BEAMS THROUGH TECHNOLOGICAL OPENINGS: FROM ANALYSIS TO IMPLEMENTATION

Бобало Т.В., к.т.н., доцент, ORCID: 0009-0000-9940-167X, Витак О.П., аспірант, ORCID: 0009-0002-9396-330X, Якимів Д.Ю., аспірант, ORCID: 0009-0001-3144-1891 (Національний університет «Львівська політехніка»)

Bobalo T.V., PhD Associate Professor, ORCID: 0009-0000-9940-167X, Vytak O.P., postgraduate student, ORCID: 0009-0002-9396-330X, Yakymiv D.Y., postgraduate student, ORCID: 0009-0001-3144-1891 (Lviv Polytechnic National University)

У статті розглянуто підсилення монолітних залізобетонних плит перекриття існуючої будівлі з недостатньою жорсткістю та підвищеними прогинами. За результатами обстеження встановлено, що визначальним є другий граничний стан. Запропоновано конструктивне рішення підсилення шляхом влаштування додаткових балок через технологічні отвори. Наведено результати розрахунку, експериментальних досліджень та практичної реалізації. Показано ефективність методу для підвищення жорсткості та забезпечення експлуатаційної придатності перекриття.

The paper presents a method for strengthening monolithic reinforced concrete floor slabs in existing buildings with insufficient stiffness and excessive deflections. Based on the results of a technical inspection, typical defects such as cracking and increased deflections close to the allowable limits were identified. The analysis of the stress-strain state showed that the serviceability limit state governs the structural behavior, while the load-bearing capacity remains sufficient.

A strengthening technique based on the installation of additional reinforced concrete beams through technological openings in the slab is proposed. The method allows the formation of new load-bearing elements without dismantling the existing structure. Numerical analysis was performed using actual material properties and geometric parameters obtained from in-situ investigations. Experimental studies were carried out on a scaled slab model with openings using the digital image correlation (DIC) method. The results confirmed the influence of openings on the deformation pattern and justified the need for stiffness compensation.

The proposed strengthening solution was successfully implemented in practice. The construction process included cutting technological openings, installing reinforcement cages, formwork arrangement, and concreting through the slab thickness. The method demonstrated its effectiveness in improving structural stiffness and ensuring serviceability without significant intervention in the existing structure.

The developed approach can be recommended for the strengthening and reconstruction of reinforced concrete slabs in buildings with similar structural deficiencies.

Ключові слова: реконструкція, підсилення, залізобетонні плити, залізобетонні балки, прогин.
reconstruction, strengthening, reinforced concrete slabs, reinforced concrete beams, deflection.

Вступ. Монолітні залізобетонні плити перекриття широко застосовуються в цивільному будівництві завдяки технологічності та здатності працювати як просторові елементи. Водночас, у разі відсутності достатнього армування або при зміні експлуатаційних навантажень, такі конструкції можуть втрачати експлуатаційну придатність через розвиток надмірних прогинів і тріщин.

Особливої актуальності набуває питання підсилення існуючих плит перекриття без їх демонтажу. Традиційні методи підсилення не завжди є ефективними або економічно доцільними, що зумовлює необхідність розробки нових конструктивних рішень.

У даній роботі розглянуто підсилення монолітної залізобетонної плити перекриття шляхом влаштування додаткових балок через технологічні отвори з подальшим підмонолічуванням. Особливістю роботи є поєднання результатів обстеження, чисельного аналізу та практичної реалізації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблеми оцінки технічного стану та підсилення залізобетонних конструкцій широко розглядаються в сучасних наукових дослідженнях. Значна увага приділяється аналізу причин виникнення дефектів, зокрема тріщиноутворення та надмірних прогинів, а також розробці ефективних методів відновлення експлуатаційної придатності конструкцій.

У статтях Я.З. Бліхарського [1, 2] досліджено характерні пошкодження залізобетонних елементів та методи їх підсилення. Показано, що ефективність підсилення значною мірою залежить від правильного врахування напружено-деформованого стану конструкцій.

У роботах А.П. Крамарчука та Б.М. Ільницького [3, 4] розглянуто питання забезпечення несучої здатності монолітних плит перекриття. Встановлено, що при наявності тріщин і значних деформацій визначальним фактором часто є другий граничний стан.

У роботах Т.В. Бобала [5] досліджено роботу залізобетонних плит перекриття та вплив конструктивних параметрів на їх напружено-деформований стан і деформативність.

Експериментальні методи дослідження деформацій, зокрема цифрова кореляція зображень (DIC), розглянуті у роботах М.А. Sutton та ін. [6], де показано можливість детального аналізу полів деформацій і розвитку тріщин у матеріалах.

У роботі В. Gencturk та ін. [7] досліджено застосування методу DIC для повномасштабних залізобетонних конструкцій, що підтверджує ефективність його використання для оцінки роботи елементів під навантаженням.

Крім того, у роботах Т.М. Fayuad та J.M. Lees [8] показано можливість застосування DIC для аналізу тріщиноутворення в залізобетонних елементах.

Разом з тим, питання підсилення монолітних плит перекриття шляхом влаштування додаткових балок через технологічні отвори, а також вплив таких отворів на напружено-деформований стан конструкцій, залишаються недостатньо дослідженими, що обумовлює актуальність даної роботи.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є розробка та обґрунтування ефективного способу підсилення монолітних залізобетонних плит перекриття шляхом влаштування додаткових балок через технологічні отвори.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

1. виконати технічне обстеження конструкції перекриття;
2. визначити фактичний напружено-деформований стан плит;
3. встановити визначальний граничний стан конструкції;
4. розробити конструктивне рішення підсилення;
5. виконати чисельний аналіз роботи підсиленої конструкції;
6. оцінити ефективність запропонованого рішення на основі експериментальних досліджень та реалізації.

Опис об'єкта та результати обстеження. Об'єктом дослідження є монолітні залізобетонні плити перекриття першого поверху існуючої житлової будівлі. Конструктивна схема будівлі — безкаркасна, з опиранням плит перекриття по контуру на несучі поздовжні та поперечні стіни. Просторова жорсткість будівлі забезпечується сумісною роботою стін та диска перекриття.

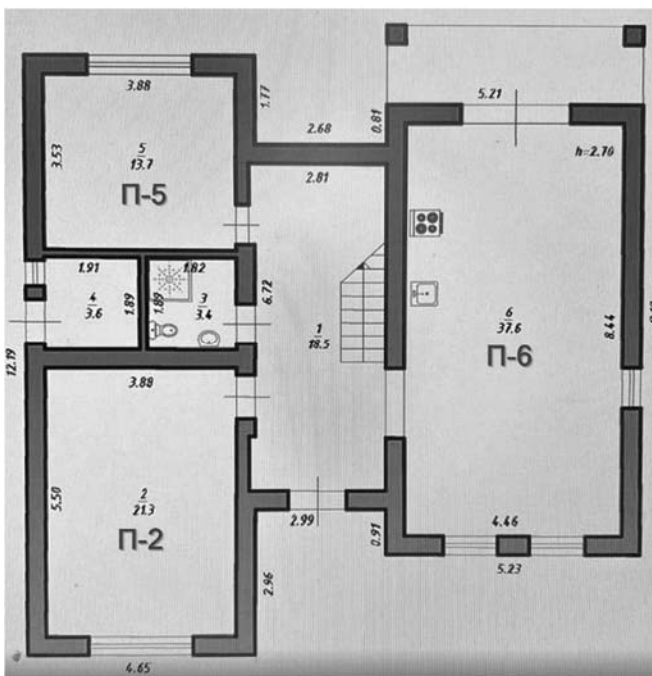


Рис. 1. Схема вертикальних несучих елементів (з плану БТІ)

Плити перекриття мають прямокутну форму в плані та працюють у двох напрямках. За результатами обмірів встановлено, що товщина плит становить 140–150 мм, а прольоти — до 8,8 м у довшому напрямку. Армування виконано у вигляді сіток із стержнів діаметром 12 мм із кроком близько 200–220 мм.

Інструментальне обстеження показало, що міцність бетону відповідає класу С20/25 (В25), що є типовим для конструкцій такого типу. Параметри армування та захисного шару визначено неруйнівними методами та прийнято для подальших розрахунків.

За результатами візуального обстеження виявлено характерні дефекти та пошкодження, а саме:

- кутові тріщини у зонах опирання плит;
- поздовжні тріщини у верхній зоні в середині прольоту;
- тріщини вздовж граней плит на відстані близько 100 мм від опор;
- сітку дрібних тріщин на нижній поверхні;
- сліди висолування, що свідчать про фільтрацію води через тріщини.

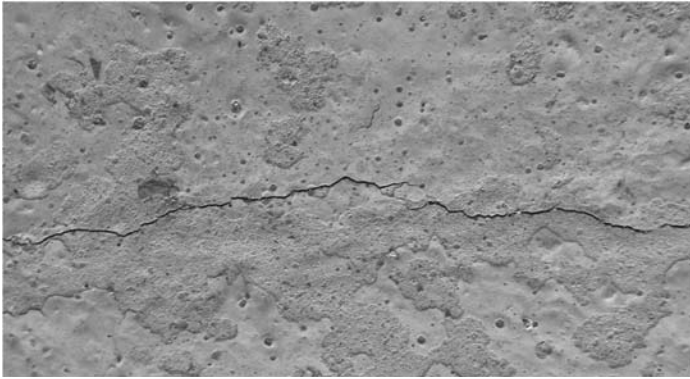


Рис. 2. Тріщини в плиті перекриття

Виявлені дефекти свідчать про роботу плит у стадії, близькій до граничного стану за деформативністю. Особливо це проявляється у вигляді розвитку тріщин у розтягнутій зоні та їх поширення у напрямку до середини прольоту.

Визначення прогинів виконано методом лазерного нівелювання. Отримані значення показали, що для окремих ділянок плит прогини досягають 70 % від гранично допустимих, навіть без урахування додаткових навантажень від конструкції підлоги.

Аналіз несучої здатності та НДС. Розрахунок плит перекриття виконано з урахуванням фактичних характеристик матеріалів та геометричних параметрів.

Встановлено, що:

- несуча здатність плит за першою групою граничних станів забезпечена;
- за другою групою граничних станів (прогини) конструкція працює на межі допустимих значень.

Порівняння фактичних та граничних прогинів

Ділянка плити	Грань	Сторона	Проліт	Вимір 1, мм	Вимір 2, мм	Вимір 3, мм	Прогин (+), витин (-), мм	Граничний прогин, мм	% від граничного
П2	нижня	коротка	4260	1070	1055	1070	15	21,3	70,4
	нижня	довга	5880	1075	1055	1075	20	29,4	68,0
	верхня	довга	5880	150	165	155	12,5	29,4	42,5
П5	нижня	коротка	4260	1115	1100	1100	7,5	21,3	35,2
	нижня	довга	5910	1109	1100	1106	7,5	29,6	25,4
	верхня	довга	5910	155	164	155	9	29,6	30,5
П6	нижня	коротка	4840	1106	1099	1114	11	24,2	45,5
	нижня	довга	8820	1119	1079	1105	33	44,1	74,8
	верхня	довга	4840	158	180	160	21	24,2	86,8

Отримані результати свідчать про суттєву різницю між роботою конструкції за першою та другою групами граничних станів. Зокрема, за умов дії розрахункових навантажень несуча здатність плит перекриття не вичерпується, що підтверджується запасом міцності за згинальними моментами та поперечними силами.

Водночас аналіз деформативності показує, що прогини плит досягають значень, близьких до гранично допустимих. Для окремих ділянок плит величина прогинів становить до 70 % від нормативних обмежень, навіть без урахування додаткових навантажень від конструкції підлоги. Це свідчить про те, що конструкція працює в умовах, близьких до вичерпання експлуатаційної придатності.

Слід відзначити, що характер тріщиноутворення, зафіксований під час обстеження, узгоджується з результатами розрахунку. Зокрема, наявність поздовжніх тріщин у середній частині прольоту та кутових тріщин у зонах опирання підтверджує інтенсивну роботу розтягнутої зони та нерівномірний розподіл напружень у плиті.

Таким чином, визначальним фактором, що обмежує подальшу експлуатацію конструкції, є не міцність, а жорсткість. Це вказує на необхідність підсилення, спрямованого насамперед на зменшення прогинів і підвищення просторової жорсткості системи.

Виконаний аналіз також показує, що збільшення навантаження від конструкції підлоги без попереднього підсилення призведе до перевищення граничних прогинів, що є недопустимим з точки зору нормативних вимог. У

зв'язку з цим подальші дослідження спрямовані на розробку ефективного конструктивного рішення підсилення перекриття.

Експериментальні дослідження. Для оцінки впливу технологічних отворів на роботу плити виконано експеримент на зменшеній моделі з використанням методу цифрової кореляції зображень (DIC).

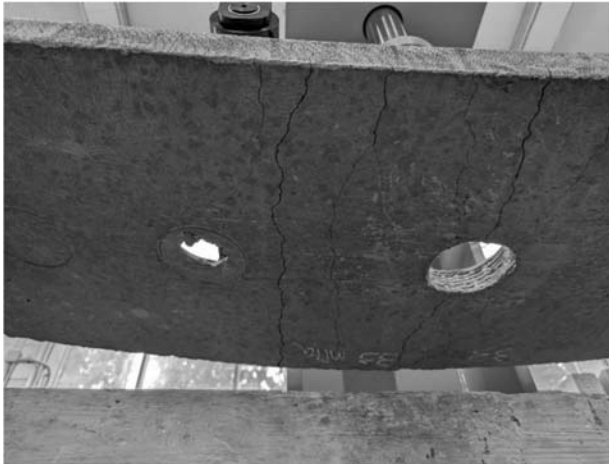


Рис. 3. Експериментальна модель плити з отворами

Аналіз отриманих полів деформацій показав локальну концентрацію деформацій у зонах, прилеглих до отворів, що свідчить про перерозподіл зусиль у плиті. При цьому спостерігається зменшення ефективної жорсткості конструкції та зміна схеми її роботи. Отримані результати узгоджуються з теоретичними уявленнями про вплив ослаблення перерізу на напружено-деформований стан плоских елементів.

Конструктивне рішення підсилення. Запропоновано конструктивне рішення підсилення плит перекриття шляхом влаштування додаткових залізобетонних балок, що підмонолічуються знизу через попередньо виконані технологічні отвори у плиті. Такий підхід дозволяє виконати підсилення без демонтажу існуючого перекриття та зі збереженням основної конструктивної схеми будівлі.

Розташування технологічних отворів прийнято з урахуванням розрахункової роботи плити, що дозволяє мінімізувати вплив на її несучу здатність у процесі виконання робіт. Влаштовані балки забезпечують перерозподіл зусиль і зменшення прогинів, підвищуючи загальну жорсткість конструкції.

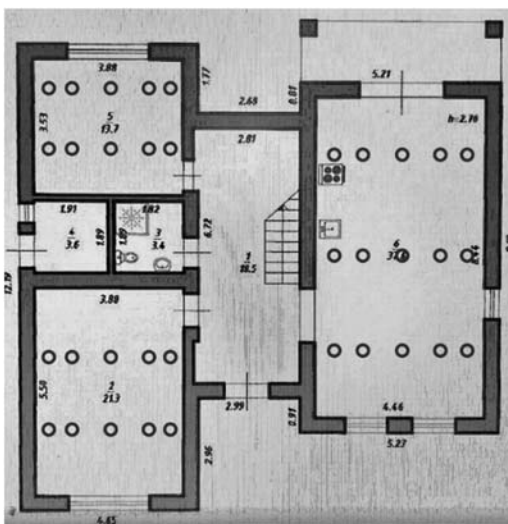


Рис. 4. Схема розташування технологічних отворів

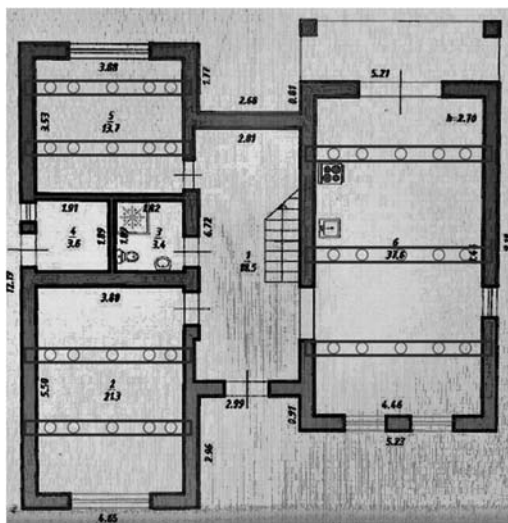


Рис. 5. Схема підсилення плит балками

Балки виконуються у вигляді монолітних елементів з просторовими арматурними каркасами та опираються на існуючі колони та стіни.



Рис. 6. Арматурний каркас балки

Реалізація підсилення. Реалізація підсилення включала такі етапи:

1. Влаштування технологічних отворів у плиті перекриття;
2. Монтаж арматурних каркасів балок;
3. Встановлення опалубки знизу;
4. Бетонування балок через отвори у плиті.

На рис. 7 показано армування проектованої балки для підсилення, включаючи робочу поздовжню та поперечну арматуру, а також характер її розташування відносно існуючої плити перекриття.

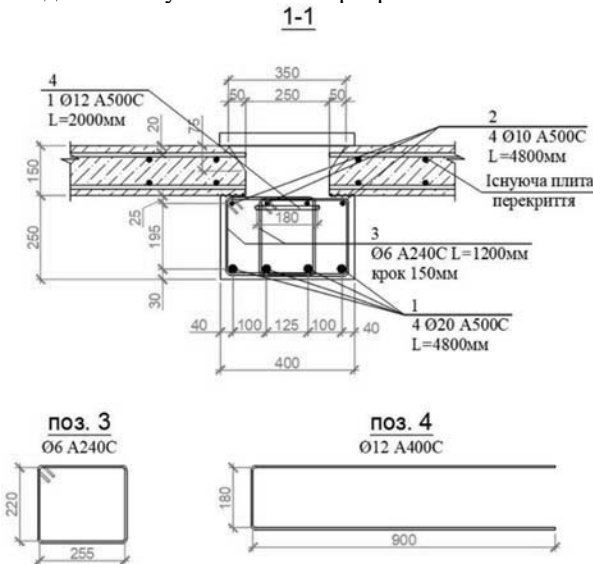


Рис. 7. Схема армування балки



Рис. 8. Процес влаштування отворів



Рис. 9. Влаштування опалубки та бетонування

При виготовленні просторового каркасу та монтажі під існуюче перекриття, передбачається влаштування додаткових “шпонок” між балками та плитами для забезпечення їхньої сумісної роботи. Дані шпонки сприймають зусилля моменту та зрізу і розраховуються за формулою:

$$W_{nec} = \frac{M_B}{R_y},$$

Де W_{nec} – необхідний мінімальний момент опору перерізу шпонки, M_B – момент, що виникає у перерізі, R_y - розрахунковий опір сталі при розтягу.

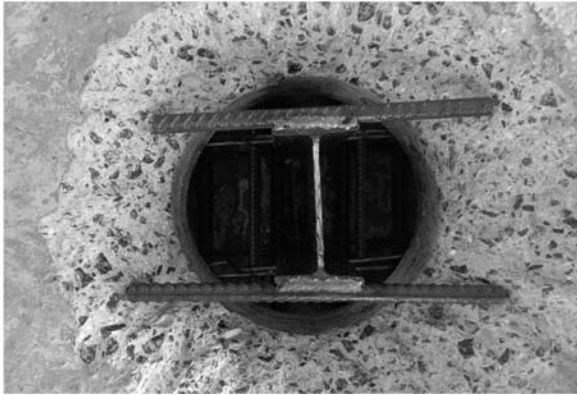


Рис. 10. Жорстка вставка у вигляді двотавра в отворі

Результати та обґрунтування ефективності. Запропоноване конструктивне рішення дозволяє:

- підвищити жорсткість перекриття;
- зменшити прогини плит;
- забезпечити експлуатаційну придатність конструкції;
- виконати підсилення без демонтажу перекриття.

Використання технологічних отворів забезпечує можливість влаштування балок без значного втручання в існуючу конструкцію.

За результатами аналізу встановлено, що введення додаткових балок призводить до перерозподілу внутрішніх зусиль та зменшення ефективних прольотів роботи плити. Це, у свою чергу, забезпечує зниження деформативності та стабілізацію тріщиноутворення. Отримані результати узгоджуються з розрахунковими передумовами та підтверджують доцільність застосування запропонованого підходу при реконструкції подібних конструкцій.

Висновки. Встановлено, що для досліджуваних монолітних плит перекриття визначальним є другий граничний стан, пов'язаний із надмірними прогинами, при забезпеченій несучій здатності. Запропоновано спосіб підсилення шляхом влаштування додаткових залізобетонних балок через технологічні отвори, який забезпечує підвищення жорсткості конструкції.

Ефективність запропонованого рішення підтверджена результатами розрахункових та експериментальних досліджень і може бути рекомендована для реконструкції подібних конструкцій..

1. Бліхарський Я.З. Дослідження роботи залізобетонних конструкцій при підсиленні. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2022. № 80. С. 80–85.

Blikharskyi Ya.Z. Doslidzhennia roboty zalizobetonnykh konstrukttsii pry pidsylenni. Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnik». 2022. № 80. S. 80–85.

2. Blikharskyu Ya.Z. Investigation of reinforced concrete beams strengthened with reinforced concrete elements. Journal of Civil Engineering. 2020. Vol. XX. pp. 1–10.

3. Крамарчук А.П. Оцінка технічного стану та підсилення залізобетонних конструкцій. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2018. 120 с.

Kramarchuk A.P. Otsinka tekhnichnoho stanu ta pidsylennia zalizobetonnykh konstrukttsii. Lviv: Vyd-vo Lvivskoi politekhniki, 2018. 120 s.

4. Ляницький Б.М. Несуча здатність залізобетонних плит перекриття при експлуатаційних навантаженнях. Будівельні конструкції. 2019. № 92. С. 45–52.

Plnyskyi B.M. Nesucha zdatnist zalizobetonnykh plyt perekryttia pry ekspluatatsiinykh navantazhenniakh. Budivelni konstrukttsii. 2019. № 92. S. 45–52.

5. Бобало Т.В. Робота залізобетонних плит перекриття при різних умовах навантаження. Вісник НУ «Львівська політехніка». 2021. № 85. С. 25–30.

Bobalo T.V. Robota zalizobetonnykh plyt perekryttia pry riznykh umovakh navantazhennia. Visnyk NU «Lvivska politekhnika». 2021. № 85. S. 25–30.

6. Sutton M.A., Ortu J.J., Schreier H.W. Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements. Springer, 2009. 364 p.

7. Gencturk B., Hossain K., Kapadia A. et al. Use of Digital Image Correlation Technique in Full-scale Testing of Prestressed Concrete Structures. Measurement. 2014. Vol. 47. pp. 505–515. DOI: 10.1016/j.measurement.2013.09.017

8. Fayyad T.M., Lees J.M. Application of Digital Image Correlation to Reinforced Concrete Fracture. Procedia Materials Science. 2014. Vol. 3. pp. 1585–1590. DOI: 10.1016/j.mspro.2014.06.255

Відомості про статтю:		Article information	
Отримано	18.03.2026	Received	18.03.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді	23.03.2026	Received in revised form	23.03.2026
Прийнято	15.04.2026	Accepted	15.04.2026
Опубліковано	31.05.2026	Published	31.05.2026

Політика відкритого доступу

Політика відкритого доступу збірника передбачає безкоштовний та безперешкодний доступ до наукових матеріалів. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Open access policy

The open access policy of the collection provides free and unhindered access to scientific materials. All data is available in digital or graphical form in the main text of the article.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the current study, including financial, personal, authorial or any other that could be included in the study, as well as the results presented in this document.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

Use of Artificial Intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.